NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. le Dr RENÉ MARAGE

DOCTEUR EN MÉDECINE ET DOCTEUR ÈS SCIENCES

2e APPENDICE

1904-1907

PARIS

MASSON & Cie, ÉDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, Boulevard Saint-Germain

—

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

Travaux de physique biologique (*Suite*).

Audition.

20. — Sensibilité spéciale de l'oreille physiologique pour certaines voyelles.

21. — Contribution à l'étude de l'organe de Corti.

22. — Pourquoi certains sourds-muets entendent mieux les sons graves que les sons aigus.

23. — Qualités acoustiques de certaines salles pour la voix parlée.

24. — Contribution à l'étude de l'audition des poissons.

Phonation.

25. — Photographie rapide des principales vibrations de la voix chantée et parlée.

Applications médicales.

10. — Différentes sortes d'otites scléreuses.

TRAVAUX DE PHYSIQUE BIOLOGIQUE

TRAVAUX SUR L'AUDITION (*Suite*).

20. — SENSIBILITÉ SPÉCIALE DE L'OREILLE PHYSIOLOGIQUE POUR CERTAINES VOYELLES [1].

MM. Zwardemaker et Quix [2] ont cherché le minimum de puissance nécessaire pour produire une sensation sur l'oreille : pour les tuyaux, ils calculaient l'énergie sonore par la méthode de lord Rayleigh [3] d'après le débit et la pression de l'air. Ils ont trouvé deux maxima de sensibilité pour l'oreille, l'un pour le son 3.072 (sol_5 3.100 vs), qui correspond à la résonance du conduit auditif externe, et un autre pour le son 512 (ut_3 517 vs), déjà trouvé par Wead.

Il était intéressant de chercher si les sons voyelles présentaient des phénomènes analogues.

Il est très difficile d'employer les voyelles naturelles, parce que l'on ne peut pas déterminer, chez un sujet normal, le débit et la pression de l'air qui s'écoule des poumons pendant la phonation [4] ; j'ai donc pensé à employer les sons de la sirène à voyelles; il est facile, en effet, de mesurer sur cet instrument les deux quantités dont on a besoin; le travail dépensé pendant une seconde sera exprimé en kilogrammètres par le produit VH, le volume V étant mesuré en mètres cubes et la pression en millimètres d'eau [5].

Les conditions de l'expérience étaient les suivantes :
Altitude: 83^m.
Date: mois d'août entre 6^h et 7^h du soir.
Température comprise entre 20° et 23°.

(1) Note à l'Académie des sciences, 9 janvier 1905.
(2) *Archiv. für Anatomie und Physiologie* (*Physiologische Abtheilung* : *Supplément*, 1902, p. 367-398).
(3) *Philosophical Magazine*, 1894.
(4) Sur une femme trachéotomisée, Cagniard de Latour avait trouvé que la pression de l'air sortant était de 100^{mm} d'eau pour les sons graves et de 200^{mm} pour les sons aigus.
(5) Lord Rayleigh, *loc. cit.*

Nature du sol : prairie.

Temps sec (il n'avait pas plu depuis un mois).

Vitesse du vent : nulle.

Observateur : oreille très fine, culture musicale nulle.

L'observateur et la sirène étaient à une distance déterminée, et l'on augmentait l'énergie du son jusqu'à ce qu'il fût entendu.

Les résultats sont contenus dans le tableau suivant ; l'énergie est exprimée en kilogrammètres et la distance en mètres :

Notes.	OU		O.		A.	
	Énergie.	Distance.	Énergie.	Distance.	Énergie.	Distance.
ut_{-1}	0,06	70	0,012	70	0,016	70
ut_1	0,044	125	0,004	125	0,0033	125
sol_2	0,06	125	0,008	125	**0,00055**	125
ut_3	**0,015**	125	**0,00037**	125	0,00096	125
ut_3	0,038	150	0,0011	150	0,0022	150
ut_3	0,05	210	0,033	290	0,039	290

Notes.	É.	
	Énergie.	Distance.
ut_1	0,0023	70
fa_3	**0,000071**	125
fa_4	0,00013	125
fa_4	0,00066	150
fa_4	0,008	290

Notes.	I.	
	Énergie.	Distance.
ut_2	0,00026	70
fa_5	0,00045	125
si_5	0,00011	125
fa_6	**0,0000003**	125
fa_6	0,0000003	150
fa_6	0,014 (1)	290

1. *Vocables.* — On voit que, à distance constante (125m), chaque voyelle est perçue pour un minimum d'énergie sur une note déterminée ; pour OU et O, ut_3 ; pour A, sol_2 ; pour É, fa_3 ; pour I, fa_6. Dans ces conditions, la vocable correspondant à OU est ut_3 ; à O, ut_4 ; à A, $ré_4$; à É, fa_4 ; à I, fa_6. Or ces notes sont voisines de celles que des expérimentateurs, qui se servaient de l'oreille uniquement, ont trouvées comme vocables pour les voyelles. Ceci permet d'expliquer un point resté obscur dans leurs expériences de synthèse. Quand ils disaient, par exemple : en faisant vibrer un résonnateur $si\flat_3$ (très voisin de ut_4) au moyen d'un diapason à anche $si\flat_2$, on obtient un très bel O ; cette expression assez vague, un très bel O, veut dire simplement que l'O obtenu pour un minimum d'énergie produisait la plus vive impression sur leur oreille. Il en est de même pour les autres voyelles.

2. *Voix chantée.* — Les professeurs de chant, et Lefort en particulier, admettent que l'on peut chanter n'importe quelle voyelle sur n'importe quelle note, comprise dans le registre de la voix, pourvu que la voyelle soit bien émise, c'est-à-dire que la note rendue par la cavité buccale soit dans le rapport que j'ai indiqué avec la note fondamentale ; mais comme, d'un autre côté, l'oreille est plus sensible à certaines voyelles émises sur

(1) Lord Rayleigh avait trouvé une énergie de 0,01862 pour un sifflet donnant fa_6 et portant à 200m.

certaines notes, on s'explique que les chanteurs ne se gênent pas pour changer une voyelle émise sur une note uniquement pour être agréables à leurs auditeurs, et cela est d'autant plus avantageux pour eux qu'ils ont besoin d'un moindre effort.

3. *Voix parlée.* — Un orateur peut avoir besoin d'émettre la voyelle portant le plus loin avec un minimum d'énergie, sur une note comprise dans le registre de sa voix : il est donc obligé de renoncer aux voyelles É et I, qui ne portent loin que sur des notes trop aiguës. OU est éliminé, puisque, sur la note ut_3, il faut une énergie 0,015 pour porter à 125^m ; restent donc les deux voyelles O et A, et c'est en effet celles que l'on emploie.

4. Il était intéressant de se demander si l'éducation de l'oreille n'avait pas une certaine influence ; j'ai donc recommencé les mêmes expériences en prenant comme observateur un très bon musicien ayant une oreille très cultivée. Les phénomènes ont été du même ordre, mais encore plus marqués.

Applications. — 1° *La note des sirènes* employées sur les côtes est actuellement le $ré_3$ après avoir été longtemps le la_3 ; peut-être y aurait-il lieu de chercher si des notes plus aiguës n'auraient pas une portée plus grande, tout en exigeant une dépense moindre d'énergie ;

2° *Dans les acoumètres*, il est indispensable non seulement d'avoir une vibration de nature déterminée, mais encore de bien connaître la note fondamentale sur laquelle cette vibration est émise.

21. — CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE L'ORGANE DE CORTI [1].

On connait l'hypothèse de Helmholtz sur le mécanisme de l'audition : chaque fibre de Corti est accordée pour un son, et elle vibre par sympathie lorsque ce son est produit à l'extérieur.

Cette théorie si simple semblait avoir été confirmée par les observations de Hensen [2]. Au moyen d'un appareil reproduisant les dispositions du tympan et des osselets, ce savant conduisait le son d'un cor à piston dans l'eau d'une petite caisse où était fixé une *Mysis*, en sorte qu'on pouvait observer au microscope les soies extérieures de la queue.

On constatait que certains sons du cor faisaient vibrer fortement certaines soies ; d'autres sons ébranlaient d'autres soies [3].

J'ai repris les expériences de Hensen au laboratoire de Roscoff ; le dispositif employé était le suivant :

Une membrane mince, non tendue, en caoutchouc, transmettait, par l'intermédiaire d'une colonne d'air de $0^m,40$ de longueur, les vibrations qu'elle recevait à 1^{cm^3} d'eau contenu dans une petite cuve où se trouvait une *Mysis*.

L'observation est facile sans fixer l'animal, car celui-ci se place presque toujours la tête vers les bords de la cuve et la queue vers le centre.

Les sources sonores employées étaient les diapasons :

A anches...........	mi_2	la_2	$ré_3$	sol_3	la_3	si_3	mi_4
A branches	$si\flat_2$	$si\flat_3$	$si\flat_4$	$si\flat_5$	$si\flat_6$		

et les voyelles naturelles OU, O, A, È, I, émises sur les notes comprises dans les registres d'un soprano et d'un baryton. Les tracés de ces différents sons avaient été pris par les flammes manométriques et par la méthode graphique.

L'énergie du son des diapasons à anche était environ de $0^{kgm},00075$; celui des voyelles naturelles de $0^{kgm},070$.

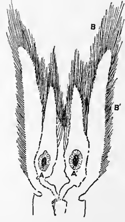
Les expériences ont été répétées un grand nombre de fois, sur des *Mysis vulgaris* et des *Mysis chamælon*, et jamais l'on n'a pu observer ce qu'avait remarqué Hensen, les cils longs vibrant pour des notes graves, les cils courts pour des notes aiguës.

Cependant l'énergie de ces sons était bien suffisante, puisque la voyelle synthétique I sur la note fa_6, émise avec une énergie de 0,0000003, est entendue par une oreille placée à 125^m de distance; de même OU, sur la note ut_3, et émise avec une énergie de $0^{kgm},015$, est entendue à 125^m [4].

[1] Note à l'Académie des sciences, 6 novembre 1905.
[2] *Étude sur l'organe de l'ouïe chez les Décapodes* (*Journal de zoologie scientifique de* Siebold et Kölliker, Bd. XIII).
[3] Helmholtz, *Théorie physiologique de la musique*, 2e édition, p. 187, traduction française.
[4] *Comptes rendus*, 9 janvier 1905.

Les sons du cor employés par Hensen avaient certainement une énergie beaucoup plus grande.

Malheureusement, je n'avais à ma disposition que deux trompettes à anches libres, donnant les notes $ré_4$ et ut_5.



Queue de *Mysis*. (Grossis. : 30 diam.)
A, A', otocystes avec un gros otolithe ;
B, B', soies de différentes longueurs.

L'énergie du son émis par ces deux instruments était environ 200 fois plus grande ($0^{kgm},140$) que celui des diapasons à anche. Avec ces sources sonores très intenses, j'ai constaté, en effet, que certains groupes de cils étaient parfois animés de mouvements vibratoires, mais je n'ai pas pu remarquer d'action élective pour certains cils, suivant que l'on employait la note $ré_4$ ou la note ut_5.

De plus, il me semble qu'il y avait des causes d'erreur dues à l'ébranlement du liquide en totalité.

Mais mon installation pour ces derniers sons musicaux était trop primitive.

Pour le moment, la seule conclusion à tirer de ces expériences est la suivante :

Les sons des diapasons et ceux des voyelles naturelles, émis avec une énergie capable d'impressionner par l'air extérieur une oreille placée à 125^m de distance, n'ont pas pu faire entrer en vibration les cils des *Mysis*, ces vibrations étant transmises à 1^{cm^3} d'eau par l'intermédiaire d'une membrane vibrante et d'une colonne d'air de $0^m,40$ de longueur.

22. — POURQUOI CERTAINS SOURDS-MUETS ENTENDENT MIEUX LES SONS GRAVES QUE LES SONS AIGUS [1]

A l'encontre de ce qui se passe pour une oreille normale [2], certains sourds-muets, regardés par leurs professeurs comme des sourds complets, sont plus sensibles aux notes graves qu'aux notes aiguës.

Pour qu'une oreille normale, placée à 125^m de distance, puisse entendre la voyelle synthétique OU (ut_3), il faut que le son soit émis avec une énergie de $0^{kgm},015$; tandis que, pour faire entendre la voyelle I (fa_6) à la même distance, il suffit d'une énergie bien plus faible : $0^{kgm},000\,0003$.

Au contraire, certains sourds-muets sont sensibles à OU (fa_2) émis avec une énergie $0^{kgm},005$ et, quelle que soit l'énergie du son produisant, les voyelles É (fa_5) et I (fa_6), il est absolument impossible de les leur faire entendre [3].

De plus l'expérience montre que les sourds-muets qui ont ce genre d'audition ne peuvent pas arriver à entendre la voix.

Il s'agit donc d'expliquer :

1° La courbe anormale de l'acuité auditive ;

2° L'incurabilité de ce genre de malades.

Les expériences que j'ai faites au laboratoire de Roscoff m'ont permis d'expliquer ces deux anomalies.

Lorsque l'on se sert d'une membrane mince de caoutchouc pour faire parvenir dans une cuve à eau les vibrations des voyelles naturelles, on constate que certains animaux privés de tout organe auditif, tels que les *Serpules* et les *Cyona intestinalis*, sont très sensibles aux sons graves : les *Serpules* rentrent immédiatement leurs *flagelles* lorsque l'on chante la voyelle OU sur une note voisine de $si\flat_2$, tandis que la même voyelle émise avec la même énergie sur la note $si\flat_3$ ou $si\flat_4$ n'a sur eux aucune influence.

On observe les mêmes phénomènes sur *Cyona intestinalis*, qui rentre ses siphons sous l'action des sons graves et reste absolument insensible aux sons aigus.

On comprend maintenant pourquoi les sourds-muets, qui ont le genre d'audition dont nous parlons plus haut, ne peuvent pas être développés au point de vue de leur acuité auditive ; en effet, chez ces sourds-muets, on ne se trouve pas

(1) Note à l'Académie des sciences, 13 novembre 1905.

(2) *Sensibilité spéciale de l'oreille physiologique pour certaines voyelles* (*Comptes rendus*, 9 janvier 1905).

(3) Le son est conduit à l'oreille du sourd-muet par l'intermédiaire d'un tube de caoutchouc de $0^m,50$ de longueur, muni d'une membrane vibrante.

en présence d'une véritable audition, mais simplement d'un ébranlement sans signification musicale, et la sensation qu'ils éprouvent et qu'ils ne peuvent exprimer, puisqu'ils n'ont jamais entendu, est analogue à celle éprouvée par une *Serpule* ou une *Cyona* : ce n'est pas de l'audition, c'est un phénomène de tact. En effet, cette sensibilité spéciale pour les sons graves se rencontre chez d'autres animaux.

Si, par exemple, on fait l'ablation des globes oculaires à une Crevette et si, près des moignons oculaires, on fait parvenir les notes de l'octave 2, immédiatement l'animal touche avec ses pattes les parties qui ont été lésées, tandis que les notes aigues n'ont aucune action.

Au point de vue pratique, cette remarque est importante, car la forme de tracé de l'acuité auditive permettra immédiatement de faire une sélection et d'éliminer, dans les écoles, les sourds-muets qui ne devront pas être soumis aux exercices acoustiques.

23. — QUALITÉS ACOUSTIQUES DE CERTAINES SALLES POUR LA VOIX PARLÉE (1).

Dans une salle où se produit un son continu, régulier, un auditeur peut entendre trois sortes de vibrations : 1° l'onde primaire, qui vient directement de la source ; 2° les ondes diffusées, en nombre infini, qui sont renvoyées par les parois; elles produisent le son de résonance ; 3° des ondes réfléchies régulièrement par les parois ; elles donnent naissance à des échos distincts.

Pour qu'une salle soit bonne au point de vue acoustique, il faut qu'il n'y ait pas d'écho et que le son de résonance soit assez court pour renforcer le son qui l'a produit et ne pas empiéter sur le son suivant. Nous allons étudier les conditions dans lesquelles doit se produire le son de résonance.

Un ingénieur américain, M. Wallace Sabine (2), a trouvé la loi à laquelle est soumis le son de résonance ; dans ses expériences, il emploie un tuyau d'orgue donnant ut_3, et il détermine le temps t pendant lequel l'auditeur continue d'entendre le son alors qu'il a cessé de se produire. La durée du son de résonance pour n'importe quelle salle est donnée par la formule : $t = \frac{K}{a + x}$ dans laquelle K est une constante qui dépend du volume v de la salle, et il trouve que $K = 0,171\ v$.

a est le pouvoir absorbant de la salle vide ; x, le pouvoir absorbant des spectateurs.

Si l'on détermine expérimentalement t dans la salle vide où $x = 0$, on peut calculer a et ensuite chercher la valeur t' du son de résonance, si la salle est pleine ; en effet, l'auteur a établi des tables donnant le pouvoir absorbant de différents corps et en particulier le pouvoir absorbant par personne (0,44) d'un auditoire, le pouvoir absorbant d'une fenêtre ouverte de 1^{m^2} de surface étant pris pour unité.

J'ai recommencé ces expériences en employant comme source sonore la sirène à voyelles munie des résonnateurs buccaux, de manière à me rapprocher le plus possible des conditions dans lesquelles se trouve un orateur.

La sirène était disposée au point S, où se trouve habituellement l'orateur ; l'auditeur se plaçait successivement en différents points de la salle, 1, 2, 3, 4,..., et l'on déterminait, en secondes, la durée de son résiduel pour chacune des cinq voyelles synthétiques OU, O, A, È, I.

(1) Note de l'Académie des sciences, 9 avril 1906.

(2) *Architectural Acoustics*, Part. I, *Reverberation of the American Architectural acoustics*, 1900, analysé par M. Bouty dans le *Journal de Physique*, t. X, 1901, p. 30.

Conditions de l'expérience :

Voyelles synthétiques	OU.	O.	A.	E.	I.
Notes d'émission [1]	mi_2	mi_2	mi_2	la_3	la_6
Énergie du son en 1 seconde [2].	0,052	0,036	0,052	0,036	0,002
Durée du son d'origine, 3 secondes.					

Je vais indiquer les résultats obtenus dans six salles différentes dont le volume variait entre 63 000^{m3} (Trocadéro) et 646^{m3} (Amphithéâtre de physiologie de la Sorbonne).

Salle du Trocadéro (13 expériences): V = 63 000^{m3}; nombre des auditeurs, 4 500; diamètre, 58^{m}; hauteur de la coupole, 55^{m}.

	OU.	O.	A.	É.	I.
Son de résonance [3] (salle vide) t moyenne.	2	2,1	2	2	1,9
Son de résonance (salle pleine) t' moyenne.	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4

Pour qu'un orateur se fasse bien comprendre dans cette salle, il faut qu'il parle lentement, en s'arrêtant à chaque phrase ; il ne doit pas parler avec plus d'énergie que s'il s'adressait à 250 auditeurs dans l'Amphithéâtre de physique de la Sorbonne.

Grand Amphithéâtre de la Sorbonne (11 expériences). — V = 13 600^{m3}; nombre des auditeurs, 3 000 ; surface du plafond vitré, 150^{m2}; hauteur du plafond, 17^{m} :

	OU.	O.	A.	É.	I.
t	2	2,8	2,6	1,9	1,8
t'	0,9	1	1	0,9	0,9

t' est beaucoup plus petit que t ; l'architecte a eu, en effet, le talent de supprimer presque complètement les parois latérales en les tapissant d'auditeurs, dont le pouvoir absorbant est très grand ; de plus le plafond vitré n'est qu'à 17^{m} du sol, de manière que l'écho ne peut pas se produire : l'acoustique de cette salle est donc très bonne.

Amphithéâtre Richelieu. — V = 6000^{m3} ; hauteur du plafond, 10^{m},50 : nombre des auditeurs, 800 ; nombre des expériences, 13.

	OU.	O.	A.	É.	I.
t	1,8	2,2	2	1,6	1,6
t'	1,1	0,8	0,9	1	1

Salle de l'Académie de Médecine. — V = 1 992^{m3}; nombre des auditeurs, en moyenne, 200; nombre des expériences, 78.

t	0,5	pour toutes les voyelles.
t'	0,4	— —

Je me suis trouvé en présence de résultats inattendus, aussi ai-je multiplié les expé-

(1) *Sensibilité spéciale de l'oreille physiologique pour certaines voyelles* (*Comptes rendus*) (9 janvier 1905).

(2) En moyenne un orateur dépense en 1 heure une énergie de 160^{kgm}.

(3) Le son de résonance dans cette salle présente un phénomène particulier et qui ne se retrouve pas ailleurs; sa valeur est très variable, par exemple pour É, on trouve 11 fois la valeur 2, puis 1 fois, 1, 6 : 2, 2 ; et 3, c'est ce qui explique pourquoi on entend plus mal, à certaines places.



Fig. 1. — Deux sirènes à voyelles : celle de droite a servi pour les expériences.

Fig. 2. — Salle du Trocadéro (Échelle $\frac{1}{400}$ environ).

Fig. 3 — Plan

Fig 4 — Coupe

Grand amphithéâtre de la Sorbonne ($\frac{1}{500}$)

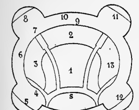


Fig. 5. — Plan.

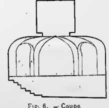
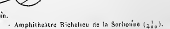


Fig. 6. — Coupe



Amphitheâtre Richelieu de la Sorbonne ($\frac{1}{400}$).

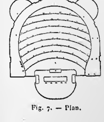


Fig. 7. — Plan.

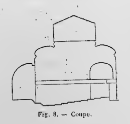


Fig. 8. — Coupe.

Académie de Medecine ($\frac{1}{500}$)

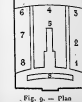
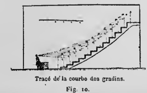


Fig. 9. — Plan



Tracé de la courbe des gradins.

Fig. 10.

Amphithéâtre de physique de la Sorbonne ($\frac{1}{400}$).

riences ; jamais je n'ai trouvé un son de résonance aussi court. Cela montre comment on peut changer les qualités acoustiques d'une salle en augmentant le pouvoir absorbant des parois ; pour une salle de cours, dont les auditeurs seraient silencieux, t' serait un peu faible ; mais, pour une salle de séances, il vaut mieux avoir une résonance aussi faible que possible.

Amphithéâtre de physique de la Sorbonne. — $V = 890^{m^3}$; nombre des auditeurs, 250 ; nombre des expériences, 8.

	OU.	O.	A.	É.	I.
Moyenne t	1,4	1,6	1,2	1,4	1,2
— t'	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6

C'est l'Amphithéâtre qui a les meilleures propriétés acoustiques pour la voix parlée.

Amphithéâtre de physiologie de la Sorbonne. — $V = 646^{m^3}$; nombre des auditeurs, 150 ; nombre des expériences, 8.

t	1,4	pour toutes les voyelles.
t'	0,7	— —

L'acoustique de cette salle est donc également très bonne.

Conclusions.— 1. Comme l'a dit M. Sabine, le son de résonance peut servir à caractériser les propriétés acoustiques d'une salle.

2. La durée de ce son varie avec le timbre, la hauteur et l'intensité du son primitif ; ce qui pourrait, peut-être, expliquer pourquoi une salle peut être assez bonne pour un orateur et mauvaise pour un orchestre.

3. Avec la formule $t = \frac{K}{a + x}$, on peut déterminer la durée du son de résonance en fonction du nombre des auditeurs.

4. Pour que l'acoustique d'une salle soit bonne, la durée d'un son de résonance déterminé doit être sensiblement constante pour toutes les places et toutes les voyelles ; elle doit être comprise entre 0,5 seconde et 1 seconde.

5. Si cette durée est plus grande que 1 seconde, on n'arrive à se faire entendre dans la salle qu'en parlant très lentement, en articulant bien et en ne donnant pas à la voix une énergie trop grande.

6. Cette méthode permet d'indiquer d'avance à un orateur les conditions dans lesquelles il doit parler pour se faire comprendre de tous ses auditeurs.

24. — CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE L'AUDITION DES POISSONS [1].

Si l'on consulte tous les travaux qui ont été publiés depuis seize ans sur l'audition des Poissons dans : *Biologisches Centralblatt*, *Centralblatt für Physiologie*, *Pflüger's Archiv für die gesammte Physiologie*, *The Journal of Physiology*, *The American Journal of Physiology*, on constate que, pour presque tous les expérimentateurs, les Poissons n'ont aucune audition ; quelques-uns admettent que ces animaux peuvent entendre les vibrations d'une cloche plongée dans l'eau, lorsque la distance qui les sépare du corps sonore n'est pas supérieure à 8^m.

J'ai pensé qu'il était utile de reprendre une partie de ces expériences en employant, ce qui n'avait pas été fait jusqu'ici, des sons ayant une hauteur, un timbre et une énergie déterminés.

J'ai employé les voyelles synthétiques OU, O, A, E, I émises successivement sur des notes comprises entre ut_2 et la_6 avec une énergie variant entre $0^{kgm},00045$ et $0^{kgm},05$; le son était conduit dans l'intérieur de la masse liquide par un tube de caoutchouc ayant $0^m,015$ de diamétre intérieur; il était muni d'une membrane mince, non tendue, en caoutchouc, de manière que ni l'air ni les trépidations de la siréne ne parvenaient dans les bacs [2].

Les animaux ne pouvaient pas voir les expérimentateurs.

Les expériences ont été continuées pendant un mois sur des Goujons (*Gobio fluviatilis*), Anguilles (*Anguilla vulgaris*), Brochets (*Esox lucius*), Tanches (*Tinca vulgaris*), Carpes (*Cyprinus carpio*), gardons (*Leuciscus rutilus*).

Les résultats ont toujours été négatifs.

On pouvait objecter que les animaux ne se trouvaient pas dans des conditions normales et que, le son étant réfléchi sur les parois du bac, l'animal ne pouvait pas en connaître la direction et par conséquent prendre la fuite du côté opposé à celui d'où le son semblait provenir.

J'ai alors repris ces expériences en eau libre, dans une rivière, mais je n'ai pu les faire que sur des Ablettes (*Alburnus lucidus*) qui se trouvaient réunies par groupes de 10 à 15, à quelques centimètres de l'extrémité du tube plongé dans l'eau.

(1) Note à l'Académie des sciences, 26 novembre 1906.

(2) Les sons ainsi transmis ont parfois une telle énergie qu'une oreille normale ne pourrait pas supporter un son 400 fois plus faible. Sur 20 sourds-muets regardés comme sourds complets, je n'en ai rencontré que 4 qui ne les aient pas entendus.

Les résultats ont été encore négatifs, et cependant un plongeur placé à 80m de distance entendait toutes les voyelles et les distinguait parfaitement, sans jamais commettre d'erreur.

Conclusions. — Les Poissons n'entendent pas les vibrations des voyelles synthétiques transmises *dans l'intérieur du liquide* avec une énergie capable d'impressionner des sourds-muets regardés comme sourds complets.

Il est donc peu probable qu'ils entendent la voix humaine ordinaire, les vibrations passant très difficilement de l'air dans l'eau.

TRAVAUX SUR LA PHONATION (*Suite*).

25. — PHOTOGRAPHIE RAPIDE DES PRINCIPALES VIBRATIONS DE LA VOIX CHANTÉE ET PARLÉE (1).

Il peut être utile pour un professeur de chant de faire voir à un élève les fautes qu'il commet. Il faut pouvoir lui prouver immédiatement qu'il ne chante pas en mesure, que sa voix est fausse et qu'elle n'est pas régulière.

Pour cela, j'ai employé la disposition suivante : un microphone et une pile sont mis en communication avec un téléphone. Les mouvements de la plaque vibrante du téléphone sont transmis à un miroir qui reçoit un rayon lumineux : ce rayon, après réflexion, vient impressionner une feuille de papier photographique mobile, qui passe ensuite dans un bain développateur, puis dans un bain fixateur. Un dispositif spécial, employé dans le télégraphe extra-rapide, permet au rayon lumineux de se déplacer dans un plan horizontal de manière à écrire des lignes un peu inclinées sur le grand axe du papier : l'inclination des lignes est produite par le déplacement du papier ; chaque ligne correspond à 1/4 de seconde.

Les deux figures ci-jointes représentent une gamme sur A : l'une mal chantée (fig. 1), l'autre bien chantée (fig. 2).

Les défauts de la première gamme sont les suivants :

1° L'artiste ne va pas en mesure parce que chaque note n'a pas la même durée, et qu'entre chaque note le temps de repos représenté sur la ligne droite n'est pas constant ;

2° La voix est fausse, parce que, si on compte le nombre de vibrations sur une ligne (1/4 de seconde) et qu'on multiplie ce nombre par 4, on ne retrouve pas la note qui devait être chantée;

3° La voix n'est pas belle parce qu'elle est irrégulière, et tremblée.

La gamme de la figure 2 est bien mieux chantée.

La figure 3 représente le même exercice bien chanté, à droite, suivant la méthode italienne et, à gauche, suivant la méthode française.

(1) Société philomatique, 26 janvier 1907.

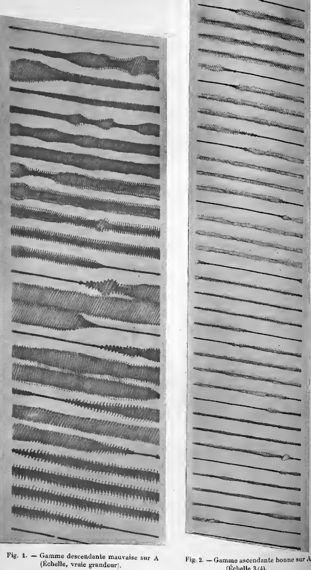
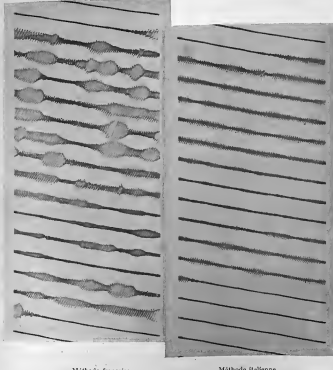


Fig. 1. — Gamme descendante mauvaise sur A (Échelle, vraie grandeur).

Fig. 2. — Gamme ascendante bonne sur A (Échelle 3/4).

Le premier tracé, beaucoup plus régulier, indique que *dans ce cas* la méthode italienne a produit une impression plus agréable sur l'oreille; de plus, elle permet



Méthode française. Méthode italienne.
Fig. 3. — Même exercice (Échelle, vraie grandeur).

de chanter plus facilement, car cet exercice a duré moins longtemps que l'autre ; cette expérience répétée plusieurs fois a toujours donné des résultats analogues.

Ce procédé peut également servir aux professeurs de diction, car on voit

facilement la durée de chaque syllabe parlée et la note sur laquelle cette syllabe est émise.

Mais cette méthode est inférieure à celle des flammes manométriques que

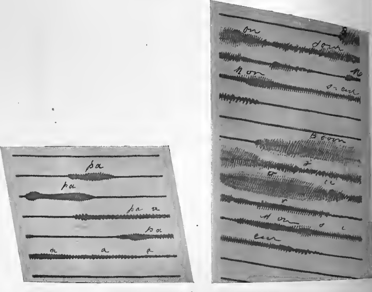


Fig. 4. — Voix parlée (Échelle, vraie grandeur).

j'ai employée en 1898, parce qu'elle ne permet pas de dissocier les vibrations et de faire l'analyse complète d'une syllabe ou d'une voyelle.

Telle qu'elle est actuellement, elle peut rendre des services à des chanteurs en leur *faisant voir* immédiatement leurs défauts, ce qui n'est pas possible avec le phonographe.

APPLICATIONS MÉDICALES

10. — DIFFÉRENTES SORTES D'OTITES SCLÉREUSES [1].

Quand on mesure, au moyen de la sirène à voyelles, l'acuité auditive des malades atteints *cliniquement* d'otite scléreuse, on obtient des résultats différents. Peut-on, au moyen de ces tracés, reconnaître si l'oreille interne présente des lésions? Telle est la question qu'il s'agit d'étudier.

L'expérience nous montre que les malades, atteints de surdité à la suite d'otorrhées, ont toujours la même forme d'audition (fig. 1) [2], tandis que ceux qui, comme les sourds-muets, présentent des lésions du nerf ou des centres auditifs, ont des tracés absolument différents (fig. 2) avec trous dans l'audition.

Par conséquent, nous pourrons dire que la sclérose affecte seulement l'oreille moyenne (fig. 3) lorsque le genre d'audition se rapprochera de celui que nous trouvons dans la figure 1; au contraire (fig. 4), nous serons en présence d'une otite scléreuse mixte, avec lésions de l'oreille moyenne et de l'oreille interne, lorsque nous rencontrerons des trous dans l'audition.

Remarque. — Le tracé A (fig. 3) est le type de la sclérose pure de l'oreille moyenne : ce tracé pouvant se trouver soit en A, soit en un point quelconque des ordonnées; des observations suivies depuis six ans ont montré que la forme B était une forme de début, la voyelle OU, la moins sonore, étant la moins bien entendue ; la maladie continuant à évoluer, le tracé B devient peu à peu le tracé A, qui rentre dans le type des surdités à lésions de l'oreille moyenne.

Conclusion. — La surdité peut être produite par des affections très diverses ; à chacune correspond un genre spécial d'audition caractéristique du siège de la lésion.

[1] Note à l'Académie des sciences, 27 février 1905.
[2] Les chiffres indiquent les pressions sous lesquelles les différentes voyelles sont entendues l'intensité du son est proportionnelle à la pression de l'air qui le produit.

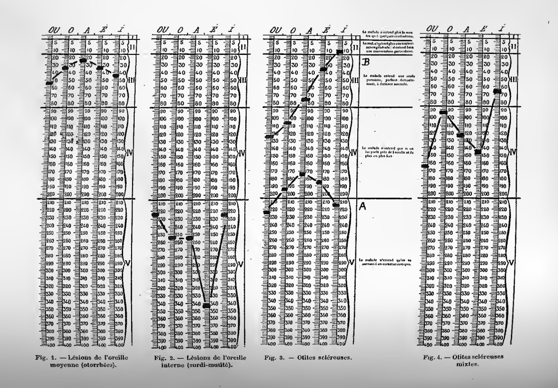


Fig. 1. — Lésions de l'oreille moyenne (otorrhées).

Fig. 2. — Lésions de l'oreille interne (surdi-mutité).

Fig. 3. — Otites scléreuses.

Fig. 4. — Otites scléreuses mixtes.